

УДК 681.3.01. + 681.3.067. + 519.6

М.В. Орда, к.т.н., с.н.с.,**С.В. Абрамов***Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м Київ, Україна*

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЯВЛЕННЯ ОДНОРІДНОСТЕЙ НА ЗОБРАЖЕННЯХ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ, ОТРИМАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ ПОВІТРЯНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглянуті питання автоматизованої обробки зображень земної поверхні. Запропоновано математичне забезпечення процесу оцінки параметрів представлень та алгоритм сегментації зображення методу автоматизованого виявлення наземних об'єктів.

Ключові слова: *система повітряної розвідки, інформаційне забезпечення, оперативна обробка зображень, сегментація, статистична теорія прийняття рішень.*

Постановка проблеми

Досвід застосування засобів повітряної розвідки проведений у багатьох аналітичних виданнях вказує на відставання ЗС України від аналогічного забезпечення провідних армій світу. Основні причини такого стану справ викликані застарілістю технологій, на яких побудовані елементи системи повітряного моніторингу та їх безсистемне застосування.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Світові лідери у сфері військових технологій постійно модернізують та вдосконалюють застосування безпілотних авіаційних комплексів (далі БпАК) шляхом їх об'єднання у глобальні системи збору, обробки та розподілу розвідувальної інформації (далі ЗОPI), а на локальному рівні шляхом об'єднання даних від різних джерел інформації. Використання синергізму подібних глобальних і локальних систем значно підвищує оперативність та достовірність виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки [5–7].

Останні дослідження розвитку систем ЗОPI, наведені у [3, 4], дозволяють відокремити наступні напрями модернізації:

- інтеграція автоматизації у процесі обробки інформації;
- кореляція зображень, отриманих від датчиків, оснований на різних фізичних принципах;
- мінімізація факторів впливу на комплекси повітряної розвідки шляхом підвищення автономії;
- вдосконалення автоматизованих методів самостійної координації.

Сьогодні світові тенденції застосування БпАК систем ЗОPI передбачають не лише автоматизацію управління, навігації, передачі та аналізу інформації, а і повну автономію всіх процесів БпАК. Технологічний аспект дозволяє створити апаратну складову проекту, але вже сьогодні відома одна з основних причин не використання повністю автономних систем, систем які самостійно оцінюють навколишню обстановку та надають управлінські команди для реалізації самостійно прийнятого рішення. Ця причина – недосконалість методів оцінки навколишньої обстановки, а оскільки основний потік інформації подібних систем отриманий за допомогою датчиків видових приладів спостереження та має формат зображення, можливо зробити висновок, що саме методи автоматизованого виявлення наземних об'єктів потребують дослідження та вдосконалення.

Заходами модернізації та розбудови ЗС України сьогодні закладається великий потенціал для реалізації наукових досягнень. Впровадження цифрових технологій у засоби повітряної розвідки відкриває нові можливості щодо аналізу інформації. В свою чергу автоматизація аналізу інформації постає наступним завданням на шляху до реалізації глобальних автоматизованих систем створення єдиного операційно-інформаційного простору.

Постановка завдання та його розв'язання

Сьогодні можливо сказати про достатньо чітку інтеграцію досягнень інформаційних технологій та штучного інтелекту у виробі воєнного призначення. Враховуючи висновки багатьох сучасних експертів та науковців у сфері національної безпеки, щодо заборони застосування штучного інтелекту у процесах прийняття рішення на застосування вогневого впливу, залишаються відкритими питання отримання інформації за допомогою цілком автономних комплексів та систем.

Автоматизовані модулі вже мають можливість самостійно рухатися, змінювати напрямок, робити зйомку у вказаному районі, злітати та приземлятися, передавати інформацію але досі залишаються сліпі та даремні у разі застосування засобів РЕБ.

Впровадження елементів технічного зору та штучного інтелекту дає можливість вести моніторинг землі без використання сигналів супутника та управління оператором, а при необхідності, коротким сигналом з кодом цілі та її положенням на цифровій карті місцевості (далі ЦКМ), надавати інформацію про вже виявлені важливі об'єкти. Також подібні інновації дають можливість самостійно, без втручання оператора, змінювати маршрут або перенацілювати електронно-обчислювальний модуль системи для отримання знімку інформативної ділянки з високою деталізацією об'єктів.

Найважливіші елементи апаратного забезпечення подібних систем дають можливість реалізувати подібні системи у ЗС України. Проблемним питанням залишається програмне забезпечення. Методи виявлення об'єктів, алгоритми яких закладені у програмному забезпеченні модуля аналізу зображення, не дозволяють виявляти весь спектр об'єктів з необхідним рівнем достовірності.

Складність автоматизованого виявлення об'єктів на знімках земної поверхні полягає у різноманітності форм, освітленості, наявності завад та інших умов які скривають або навпаки надають помилкові характеристики об'єктів. В таких умовах зйомки методи виявлення об'єктів повинні враховувати дані отримані від декількох джерел інформації.

З метою мінімізації наслідків не вірної інтерпретації сцен використовують синергізм датчиків оснований на різних фізичних принципах (рис. 1).



Рис. 1. Принцип аналізу даних в системі ЗОРІ

Застосування подібної технології підвищує достовірність розпізнавання об'єктів, а впровадження автоматизації у процес аналізу інформації скорочує тактичні розвідувальні нормативи в 2–3 рази та збільшує у 2–4 рази періодичність оцінки обстановки [8].

Сьогодні не існує універсального методу автоматизованого виявлення наземних об'єктів для пошуку всього спектру об'єктів в будь-яких умовах зйомки. Кожен метод оснований на різних принципах і використовує різні підходи, які обираються зі врахуванням характеристик об'єктів та умов зйомки.

У випадках телевізійних, інфрачервоних і радіолокаційних зйомок природних наземних об'єктів типу водних поверхонь, лісів, полів та ін., доречно казати про кусково-однорідні зображення, в яких окремим об'єктам або складовим частинам об'єктів відповідають однорідні ділянки зображення, тобто ділянки, в межах яких сигнали відносно однорідні та відрізняються від сигналів суміжних ділянок.

В завданнях аналізу зображення подібна сегментація кусково-однорідних зображень використовується як процедура для зменшення об'ємів обрахувань і розподілу зображення на інформативні ділянки та ділянки, які не утримують об'єктів пошуку.

При автоматизованій обробці зображень важливе місце займають операції, які направлені на виявлення таких однорідних характеристик сигналів, які виходять за границі можливого зорового сприйняття.

У [1] авторами запропоновано класифікацію кусково-однорідних ділянок зображення на основі породження статистичних моделей з різними параметрами та математична викладка для розрахунку загального вирішального правила. При такій постановці завдання класифікація фрагмента зображення зводиться до оцінки параметрів моделей і прийняття оптимального рішення на користь однієї із гіпотез.

Оцінка параметрів моделей передбачає знання коефіцієнтів коваріації, однак вони не завжди заздалегідь відомі, тому необхідно оцінити їх за даними, які є в наявності. В загальному випадку такі оцінки є наближеними, оскільки для аналізу доступна лише обмежена кількість даних.

В методах оцінювання математичного очікування коваріаційну функцію випадкового поля зазвичай заміняють сумою, призведеної з затримкою аргументу.

Тоді, якщо стаціонарне зображення $\{y(m, n); (m, n) \in \Omega\}$ визначено на кінцевій решітці Ω , його авторегресійне уявлення має вигляд:

$$y(m, n) = \sum_{(k, l) \in S} \phi_{k, l} y(m + k, n + l) + w(m, n), \tag{1}$$

де $w(m, n)$ – двовірсна послідовність незалежних і рівномірно розподілених значень шуму з нульовим середнім та дисперсією σ_w^2 , $\Phi = \{\phi_{k, l}; (k, l) \in S\}$ – вектор невідомих коефіцієнтів моделі.

Перепишемо (1) у вигляді моделі формуючої білий шум

$$w(m, n) = y(m, n) - \phi_{00} - \sum_{k=0}^{k-1} \sum_{l=0}^{l-1} y(m + k, n + l) \phi_{k, l}, \tag{2}$$

Вектор параметрів $a = [\phi, \rho]^T = [\phi_{00}, \phi_{01}, \dots, \phi_{k-1}, \phi_{k-1}, \rho]^T$

де $\phi = [\phi_{00}, \phi_{01}, \dots, \phi_{k-1}, \phi_{k-1}]^T$, а $n_k = k^2 + 1$ – кількість параметрів.

Для отримання оцінок параметрів вектора a застосуємо метод найменших квадратів. За наслідками диференціювання виразу (2) отримаємо:

$$\sum_m \sum_n y(m, n) [\nabla_{\phi} w(m, n)] = \sum_m \sum_n \{ -[\nabla_{\phi} w(m, n) [\nabla_{\phi} w(m, n)]^T] \Phi^* \}, \tag{3}$$

де $\Phi^* = \left[\sum_m \sum_n [\nabla_{\phi} w(m, n) [\nabla_{\phi} w(m, n)]^T] \right]^{-1} \sum_m \sum_n [\nabla_{\phi} w(m, n)] [-y(m, n)]$

З виразу (3) маємо:

$$\Phi^* = [m \rho^* S(m, a_k^*)]^{-1} \sum_m \sum_n [\nabla_{\phi} w(m, n)] [-y(m, n)] \tag{4}$$

Вирішальне правило для гіпотези виду авторегресійної моделі має вигляд:

$$\ln p(y_s / H_k) = -\frac{m-2-(n_k-1)}{2} \ln \rho^* - \frac{n_k}{2} \ln \frac{m}{2\pi} + \frac{\ln 2}{2} - \frac{m}{2\pi} \ln(2\pi + 1) - \frac{1}{2} \ln \det [\rho^* S(m, a_k^*)] + \sum_{i=1}^{n_k} \frac{(\phi_i - q_i)^2}{\sigma_k^2} - \sum_{i=1}^{n_k} \ln(\sigma_i) \tag{5}$$

Поліноміальна модель являє собою аналітичну модель та визначається як поліноміальна функція координат елементів растра (m, n) та параметрів θ_k :

$$y(m, n) = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=1}^{k-1} \theta_{ij} m^i n^j + w(m, n) \quad (6)$$

Перепишемо двовірну поліноміальну регресійну модель у вигляді формулюючого білого шуму:

$$w(m, n) = y(m, n) - \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=1}^{k-1} \theta_{ij} m^i n^j \quad (7)$$

Розглянемо лише випадки постійних $w(m, n) = \theta_{00}$ та лінійних моделей $w(m, n) = \theta_{00} + \theta_{01}n + \theta_{10}m$. Тоді для оцінки коефіцієнтів θ^* треба застосовувати метод найменших квадратів. Аналогічно, маємо:

$$\begin{aligned} a &= [\theta \rho]^T = [\theta_{00} \theta_{01} \theta_{10} \dots \theta_{k-1, k-1} \rho]^T \\ n_k &= k^2 + 1 \end{aligned}$$

Виконуючи подібні дії для поліноміальної моделі, отримаємо:

$$\begin{aligned} \theta^* &= \left[\sum_m \sum_n [\nabla_\theta w(m, n)] [\nabla_\theta w(m, n)]^T \right]^{-1} \sum_m \sum_n [\nabla_\theta w(m, n)] (-y(m, n)) = \\ &= [m \rho^* S(m, a_k^*)]^{-1} \sum_m \sum_n [\nabla_\theta w(m, n)] (-y(m, n)) \\ \rho^* &= \frac{1}{m} \sum_m \sum_n w(m, n)^2 \end{aligned}$$

Вирішальне правило для поліноміальної моделі гіпотез має вигляд:

$$\begin{aligned} \ln p(y_s / H_k) &= -\frac{m-2-k^2}{2} \ln \rho^* - \frac{k^2+1}{2} \ln \frac{m}{2\pi} + \frac{\ln 2}{2} - \frac{m}{2\pi} \ln(2\pi + 1) - \\ &= \frac{1}{2} \ln \det [\rho^* S(m, a_k^*)] + \sum_{i=1}^{k^2} \frac{(\phi_i - q_i)^2}{\sigma_k^2} - \sum_{i=1}^{k^2} \ln(\sigma_i) \end{aligned} \quad (8)$$

Таким чином, розрахувавши оцінки параметрів моделей та значення вирішального правила для кожної моделі, реалізується класифікація кусково-однорідних ділянок зображення, яка описана в [9].

Алгоритм класифікації дозволяє отримувати незв'язані кусково-однорідні ділянки, які утримують у загальному випадку декілька пов'язаних фрагментів площини зображення з однаковими моделями сигналів еталонного зображення.

Поняття однорідності сигналів у границях деякої ділянки зображення припускає введення деяких формальних критеріїв, які дозволяють оцінювати ступень однорідності конкретної вибірки сигналів по елементам растру. Вибір подібних критеріїв відображає вимушений компроміс між бажанням врахувати характерні особливості сигналів і необхідністю зберегти конструктивність математичних моделей сигналів, що генеруються для однорідних ділянок.

В багатьох випадках локалізація місць на зображенні, в яких з великою ймовірністю можуть перебувати цілі, поєднана з сегментацією. Завдання сегментації зображення полягає у локалізації декількох різних кусково-однорідних ділянок та їх класифікації.

Сформуємо математичну інтерпретацію постановки завдання сегментації. Нехай $y(m, n)$ – функція яскравості зображення, X – кінцева множина площини, на якій визначена функція $y(m, n)$; $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$ – розбиття X на K не порожніх пов'язаних множин S_i , $i=1, 2, \dots, K$. LP – предикат, визначений на множині S , який приймає істинне значення тоді, коли будь-яка пара точок з кожної множини S_i задовольняє деякому критерію однорідності.

Сегментацією зображення $y(m,n)$ по предикату LP зветься розбиття $S^* = \{ S_1^*, S_2^*, \dots, S_k^* \}$, яке задовольняє вимозі:

$$\bigcup_{i=1}^K S_i^* = X; \quad S_i^* \cap S_j^* = \{\} \text{ для } \forall i \neq j; \quad LP(S_i^*) = true \forall i; \quad LP(S_i^* \cap S_j^*) = false \forall i \neq j$$

Співвідношення означає наступне: кожна точка зображення повинна бути віднесена до деякої ділянки; ділянки S_i^* повинні бути пов'язані; визначений вид однорідності отриманих ділянок та існування єдності розбиття S^* .

Предикатом LP зветься предикат однорідності, але його значення залежить від властивостей функції $y(m,n)$:

$$LP(S_i^*) = \begin{cases} true, & \text{якщо } y(m_1, n_1) = \dots = y(m_T, n_T); \\ false, & \text{у зворотньому випадку,} \end{cases}$$

де $(m_t, n_t) \in S_i^*$, $t=1,2,\dots,T$ – число точок в області S_i^* .

Таким чином, сегментацію можна розглядати як операцію виду:

$$Seg : y(m,n) \rightarrow s(m,n), s(m,n) = \lambda_i \text{ якщо } (m,n) \in S_i^*, i = 1,2,\dots,K$$

де $y(m,n)$, $s(m,n)$ – функції, які визначають вихідне та сегментоване зображення відповідно; λ_i – мітка i -ої області.

На рис. 2 зображений алгоритм сегментації, який на початковому етапі виконує операції алгоритму класифікації.

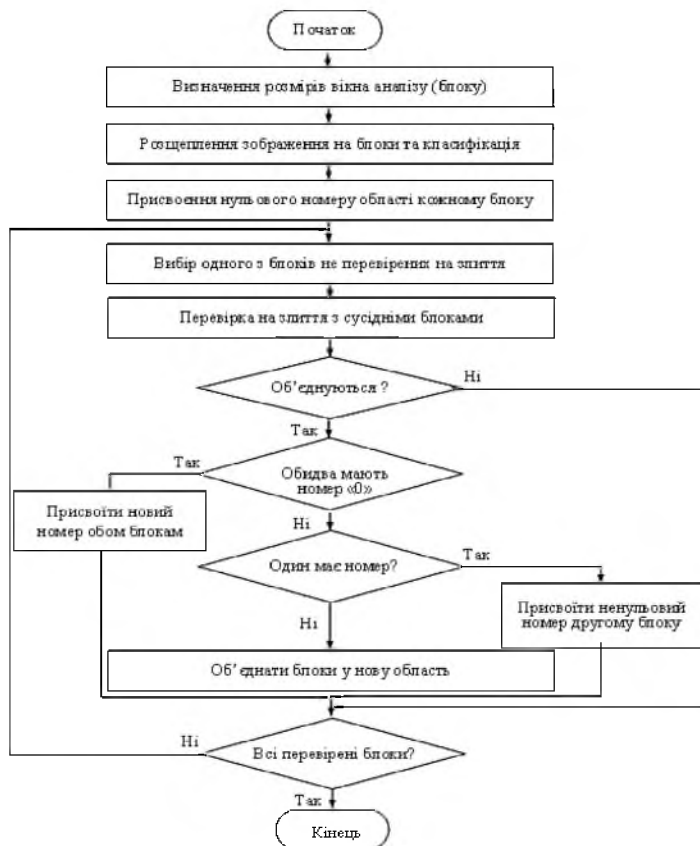


Рис. 2. Алгоритм сегментації

На наступному етапі блоки зображення розглядаються як кандидати для об'єднання. В якості критерію відповідності моделей виступає відсутність міжобласних границь. Кожний блок комбінується почергово з одним з чотирьох сусідніх блоків. Якщо величина вирішального правила для комбінації

блоків більше ніж сума для двох окремих блоків, то ці два блоки об'єднуються в одну область, у протилежному випадку залишаються окремими. Об'єднанні блоки створюють великі області, а не злиті блоки залишаються самі по собі. На завершальному етапі формуються границі між областями. На об'єднанні блоки розщеплюються на блоки менших розмірів і перевіряються на злиття зі своїми сусідами. Таким чином, виконується перерозподіл на об'єднаннях областей між крупними областями.

Така сегментація ефективна, якщо задана модель, яка характеризує статистичні якості ділянок та сигнали на них. При менших апріорних зведеннях, обмежених тільки моделями сигналів визначаючими їх локальні взаємозв'язки, сегментація плоскості зображення зводиться до вирішення завдання визначення параметрів моделі, яка породжується для кожного зв'язаного фрагмента ділянки та виявлення границь фрагментів. Для більш конструктивної постановки завдання сегментації, вважається, що пов'язані фрагменти кожної однорідної ділянки достатньо великі та їх границі займають відносно малу частину площини всього зображення.

Висновки

Таким чином, запропонована методика автоматизованого виявлення однорідностей на зображеннях земної поверхні, отриманих за допомогою систем повітряного моніторингу, яка базується на послідовному виконанні класифікації та сегментації кусково-однорідних зображень на основі загального вирішального правила та описі ділянок зображення за допомогою авторегресійної, поліноміальної та комбінованої моделей.

Застосування програмного забезпечення, в основу якого покладена дана методика, дозволяє отримувати електронну карту, яка має сегменти, позначені індексами, які визначають належність їх до фонових об'єктів або інформативних ділянок зображення.

Список використаних джерел

1. Орда М.В. Вдосконалення розвідувального циклу безпілотного авіаційного комплексу за допомогою автоматизованої підсистеми виявлення площадних об'єктів / М.В. Орда., С.В. Абрамов / Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса), Одеса. 2015. – № 4. – С. 42–50.
2. Орда М.В. Математическое обеспечение оперативной обработки изображений для систем воздушного наблюдения» М.В. Орда, С.В. Абрамов, / Вестник военного института ВВ МВД республики Казахстан» № 3(17)Петропавловск: 2015 с. 57–65.
3. Орда М.В. Напрями модернізації автоматизованих систем збору, обробки та розподілу розвідувальної інформації як підсистем мережецентричних систем управління», М.В. Орда, С.В. Абрамов, С.В. Федчук «Труди університету» № 4(137) К. :2016 С. 14–20.
4. Пацетник О.Д. Аналіз світових тенденцій розвитку автоматизованих систем управління військами і зброєю / О.Д. Пацетник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, № 2(19) Л., 2015. – С. 64–68.
5. Смирнов С. Многофункциональная радиоэлектронная аппаратура управления нанесением огневых ударов вооруженных сил стран НАТО / ЗВО № 6/2015. – С. 50–52.
6. Соколов А. Состояние и перспективы развития военно-воздушных сил США / А. Соколов // ЗВО № 5/2015. – С. 61–70.
7. Сканцев А. К вопросу об автоматизации системы управления вооружёнными силами США / А. Сканцев // ЗВО : № 4/2015. – С. 24–32.
8. Греков В. Автоматизированные системы обработки и анализа данных ASAS / Зарубежное военное обозрение. Декабрь № 12 М. :1990 С. 27–35
9. Орда М.В. Синтез алгоритма выделения протяженных объектов нерегулярного вида для авиационных систем обнаружения и наблюдения М.В. Орда, С.В. Абрамов., В.Ф. Даневич. / Вестник военного института ВВ МВД республики Казахстан. – № 3 (21) 2016. – С. 37–44.

Рецензент: О.П. Мірошников, к.військ.н., проф., Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ

**МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОДНОРОДНОСТЕЙ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ
С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ВОЗДУШНОГО МОНИТОРИНГА**

М.В. Орда, С.В. Абрамов

Рассмотрены вопросы автоматизированной обработки изображений земной поверхности. Предложено математическое обеспечение процесса оценки параметров представлений и алгоритм сегментации изображения для метода автоматизированного обнаружения наземных объектов.

Ключевые слова: *система воздушной разведки, информационное обеспечение, оперативная обработка изображения, сегментация, статистическая теория принятия решений.*

**THE TECHNIQUE OF AUTOMATED DETECTION
OF HOMOGENEITIES IN IMAGES OF THE EARTH'S SURFACE
OBTAINED FROM AIR MONITORING SYSTEMS**

M. Orda, S. Abramov

The problems of automated processing of images of the earth's surface are considered. The mathematical support of the estimation process of representation parameters and the image segmentation algorithm for the method of automated detection of terrestrial objects are proposed.

Keywords: *aerial reconnaissance system, information support, operational image processing, segmentation, statistical decision theory.*